

(12)

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

## URKUNDE

über die Erteilung des

## Patents

Nr. 199 34 174

IPC: B81C 1/00

Bezeichnung:  
Verfahren zur Herstellung einer Torsionsfeder

Patentinhaber:  
Litef GmbH, 79115 Freiburg, DE

Erfinder:  
Wiemer, Maik, 09212 Limbach-Oberfrohna, DE; Hiller, Karla,  
08294 Löbnitz, DE; Billep, Detlef, 09119 Chemnitz, DE;  
Breng, Uwe, 79194 Gundelfingen, DE; Ryrko, Bruno, 79276  
Reute, DE; Handrich, Eberhard, Dr., 79199 Kirchzarten, DE

Tag der Anmeldung: 21.07.1999

München, den 01.03.2001



Der Präsident des Deutschen Patent- und Markenamts

*Dr. Landfermann*

Dr. Landfermann



- 21 Aktenzeichen: 199 34 174.5-33  
22 Anmeldetag: 21. 7. 1999  
43 Offenlegungstag: -  
45 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 1. 3. 2001

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

- 73 Patentinhaber:  
Litef GmbH, 79115 Freiburg, DE
- 74 Vertreter:  
Patentanwälte MÜLLER & HOFFMANN, 81667  
München
- 72 Erfinder:  
Wiemer, Maik, 09212 Limbach-Oberfrohna, DE;  
Hiller, Karla, 08294 Lößnitz, DE; Billep, Detlef, 09119  
Chemnitz, DE; Breng, Uwe, 79194 Gundelfingen,  
DE; Ryrko, Bruno, 79276 Reute, DE; Handrich,  
Eberhard, Dr., 79199 Kirchzarten, DE

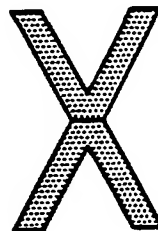
- 56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

DE 28 18 106 A1  
WO 96 38 710 A1

ENOKSSON, P. et al.: A Silicon Resonant Sensor  
Structure for Coriolis Mass-Flow Measurements.  
In: Journal of Microelectromechanical Systems,  
Vol. 6, No. 2, June 1997, pp. 119-125;  
KAUFMANN, C. et al.: Charakterisierung von  
Material- und Strukturdefekten an mikro-  
mechanischen Scannern mittels Frequenzanalyse,  
In: Proceedings of Micro Materials '95, S.443-50;  
CHOI, J. et al.: Silicon Angular Rate Sensor by  
Deep Reactive Ion Etching, In: Proceedings of the  
Int. Symp. on Microsystems, Intelligent Materials,  
and Robots, Sept. 27-29, 1995, Sendai, Japan,  
pp. 29-32;

- 54 Verfahren zur Herstellung einer Torsionsfeder

- 57 Zur Herstellung einer Silicium-Torsionsfeder, über die  
beispielsweise die Drehrate bei einem mikrostrukturier-  
ten Torsionsfeder-Masse-System ausgelesen werden  
kann, wobei eine niedrige Torsionssteifigkeit im Vergleich  
zu einer relativ hohen Quersteifigkeit in lateraler und ver-  
tikaler Richtung angestrebt wird, wird gemäß Erfindung  
von einem Wafer beziehungsweise Wafervverbund ausge-  
gangen und nach entsprechender Maskenabdeckung  
durch anisotropisches naßchemisches Ätzen eine Feder  
mit V-förmigen Querschnitt erzeugt, die sich vorzugswei-  
se über die gesamte Waferdicke erstreckt und lateral nur  
durch 111F-Flächen begrenzt ist. Zwei der so vorstrukturi-  
erten Wafer beziehungsweise Wafervverbunde werden  
um 180 gedreht und spiegelbildlich aufeinander ausge-  
richtet miteinander verbondet, so daß insgesamt der an-  
gestrebte X-förmige Querschnitt entsteht.  
Als besonderer Vorteil der Erfindung ergibt sich, daß die  
Herstellungstechnologie für die lateral- und vertikalsteife  
Drehfeder vergleichsweise einfach ist.



Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer Torsionsfeder als Teil eines aus zwei Wafern oder zwei Waferverbunden herzustellenden mikromechanischen Torsionsfeder-Masse-Systems mit niedriger Torsionssteifigkeit im Vergleich zur Quersteifigkeit in lateraler und vertikaler Richtung.

Aus der DE 28 18 106 A1 ist beispielsweise eine Torsionsfeder bekannt, die aufgrund eines kreuzförmigen Querschnitts eine im Vergleich zur Quersteifigkeit in lateraler und vertikaler Richtung niedrige Torsionssteifigkeit aufweist.

Journal of Microelectromechanical Systems (Vol. 6, No. 2, June 1997, pp. 119–125) offenbart eine auch als Torsionsfeder wirksame Röhre eines Sensors nach dem Coriolis-Prinzip. Diese Röhre wird durch Drehen, spiegelbildliches Aufeinanderlegen und Verbonden von Wafern mit einem darin jeweils gebildeten Graben hergestellt.

Als weiteres Beispiel für eine Anwendung solcher Torsionsfedern sei auf Drehspiegel und mikromechanische Drehratensensoren hingewiesen, wie sie in der internationalen Patentanmeldung WO 96/38710 A1 beschrieben sind. Insbesondere die Fig. 8 der genannten Druckschrift zeigt eine doppelagige Schwingerstruktur, die über ein aus den Waferschichten geformtes Kreuzfedergelenk in einem Rahmen gehalten ist. Dieses aus insgesamt vier einzelnen Federelementen gebildete Kreuzfedergelenk verbessert die erwünschte Steifigkeit in den Waferebenen, worauf in der genannten WO-Druckschrift hingewiesen wird.

Für eine derartige Schwingerstruktur, deren plattenförmig übereinander angeordnete Schwinger einen auf dem Coriolis-Prinzip basierenden mikromechanischen Drehratensensor bilden, ist es jedoch wünschenswert, das genannte Kreuzfedergelenk zu optimieren und zwar so, daß sich im Vergleich zur Torsionssteifigkeit eine möglichst hohe Quersteifigkeit in Richtung der Waferebenen beziehungsweise senkrecht dazu, das heißt also in lateraler und vertikaler Richtung ergibt.

Der Erfindung liegt damit die Aufgabe zugrunde, für ein mikromechanisches Torsionsfeder-Masse-System ein Verfahren zur Herstellung einer optimierten Torsionsfeder anzugeben.

Silizium-Torsionsfedern in Mikrostrukturierung sind in verschiedenen Ausführungsvarianten bereits bekannt. So beschreibt der Fachaufsatz von C. Kaufmann, J. Markert, T. Werner, T. Geßner, W. Dötzel: Charakterisierung von Material- und Strukturdefekten an mikromechanischen Scannern mittels Frequenzanalyse, Proceedings of Micro Materials '95, S. 443, relativ lange schmale Bänder, beispielsweise zum Anlenken von Torsionsspiegeln. Der Federquerschnitt ist trapezförmig. Die Federn sind an gegenüberliegenden Waferrändern ausgebildet und werden durch Ätzen von Gruben von der Rückseite bei Strukturierung der Federn von der Vorderseite hergestellt. Der Fachaufsatz von J. Choi, K. Minami, M. Esahi: Silicon Angular Rate Sensor by Deep Reactive Ion Etching, Proc. of the Int. Symposium on Microsystems, Intelligent Materials and Robots, 1995, Sendai, Japan, S. 29–32, beschreibt die Herstellung eines rechteckförmigen Torsionsquerschnitts, insbesondere für die Aufhängung eines Stimmgabelresonators mit relativ hohem Aspektverhältnis (Höhe: Breite  $\geq 4$ ), wobei als Herstellungsverfahren tiefes RIE-Ätzen (Reactive Ion Etching) vorgeschlagen wird. Diese beiden Torsionsfederquerschnitte haben den Nachteil, daß sie auch empfindlich gegenüber Querbeanspruchungen sind. Der nach dem ersten Verfahren hergestellte Federquerschnitt ist besonders gegenüber vertikaler Biegung und der nach dem letzteren Verfah-

ren hergestellte Federquerschnitt besonders gegenüber lateraler Biegung empfindlich.

Die Erfindung ist bei einem Verfahren zur Herstellung einer Torsionsfeder als Teil eines aus zwei Wafern oder Waferverbunden herzustellenden mikromechanischen Torsionsfeder-Masse Systems mit niedriger Torsionssteifigkeit im Vergleich zur Quersteifigkeit in lateraler und/oder vertikaler Richtung dadurch gekennzeichnet, daß an mindestens einem Rand jedes Wafers beziehungsweise Waferverbunds durch anisotropes naßchemisches Ätzen eines sich über die gesamte Wafer- oder Waferverbunddicke erstreckende Feder mit lateral nur durch [111]-Flächen begrenztem V-förmigen Querschnitt erzeugt wird, und daß die beiden so vordisponierten Wafer beziehungsweise Waferverbunde um 180° gedreht und spiegelbildlich aufeinander ausgerichtet miteinander verbondet werden, so daß im Bereich der beiden V-förmigen Federquerschnitte ein insgesamt X-förmiger Torsionsfederquerschnitt gebildet wird.

Wird die Erfindung in Verbindung mit der Herstellung der genannten mikromechanischen Drehratensensoren angewendet, so wird – um unterschiedliche Anregungspotentiale beziehungsweise Rückstellsignale einerseits und Zu- und Auslesepotentiale andererseits nach außen abführen zu können – für jeweils einen der Plattenschwinger von einem vorzugsweise zweilagigen Waferverbund ausgegangen. Um beispielsweise vier verschiedene elektrische Potentiale über die gekreuzten Federn der nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Torsionsfedern zu- oder abführen zu können, ist es vorteilhaft, auf mindestens einem der Wafer beziehungsweise dem Waferverbund auf der dem anderen Wafer beziehungsweise anderen Waferverbund beim Verbonden zugekehrten Oberfläche ein isolierendes Oxid auszubilden.

Durch den aufgrund des Verfahrens entstandenen X-förmigen, integral-verbundenen Torsionsfederquerschnitt erhöht sich das Verhältnis von Quersteifigkeit zu Torsionssteifigkeit gegenüber einem Rechteckquerschnitt, aber auch gegenüber einzelnen gekreuzten Federelementen, wie sie in der genannten WO-Druckschrift veranschaulicht sind, um mehr als zwei Größenordnungen.

Ein besonderer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens ist in der einfachen Technologie zu sehen, da die Torsionsfeder nicht durch zeitabhängige Ätzprozesse beeinflusst ist, so daß insgesamt bei der Kombination der beiden V-förmigen Federn nur ein zeitkriecher Ätzschritt auftritt.

Die Maßhaltigkeit der Torsionsfeder, deren Masken ersichtlicherweise lange schmale Strukturen enthält, hängt unter anderem von einer exakten Übereinstimmung zwischen der Kristallrichtung (110) und der jeweiligen Maskenausrichtung ab. Um dies zu gewährleisten, wird mit der Erfindung zur exakten Ausrichtung der Wafer untereinander beziehungsweise von Wafern zu Masken die Justagereferenz für das Verbonden, insbesondere Silizium-Direkt-Bonden, und die Lithographie mit geeigneten chemischen, plasma-chemischen und/oder mechanischen Mitteln nach der (110)-Kristallrichtung ausgerichtet. Diese Ausrichtung kann zum Beispiel dadurch erfolgen, daß die Wafer zunächst mit einer Ätzmaske versehen werden, welche parallel zur angeschliffenen Phase einer Maskenkante erzeugt wird. Anschließend werden die Wafer mit dieser Maske anisotrop überätzt, wodurch eine neue Referenzphase entsteht, die anschließend als optische beziehungsweise mechanische, vorzugsweise gravitationsunterstützte Justagereferenz für das Silizium-Direkt-Bonden und die Litografie, also die Maskenausrichtung benutzt wird.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand zweier Ausführungsbeispiele näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine erste erfindungsgemäße Verfahrensvariante

zur Herstellung einer Torsionsfeder mit X-förmigen Querschnitt aus zwei Wafern, und

Fig. 2 eine zweite abgewandelte Verfahrensführung.

Ausgangspunkt des Herstellungsverfahrens sind im Falle der Fig. 1 zwei gleichartige Wafer und im Falle der Fig. 2 zwei Waferschichtverbunde, die entlang ihrer gemeinsamen Oberflächenebene durch eine Isolationsoxidschicht 1 voneinander getrennt beziehungsweise gegeneinander elektrisch isoliert sind, mit einer Schichtdicke von beispielsweise bis zu 4  $\mu\text{m}$ . Im seitlichen Randbereich der Wafer beziehungsweise des Waferverbunds werden streifenförmige Ätzmasken 2 aufgebracht. Sodann wird durch anisotropisches, naßchemisches Ätzen im Randbereich jedes Wafers beziehungsweise Waferverbunds eine Feder 3 mit V-förmigen Querschnitt erzeugt, die lateral durch [111]-Flächen begrenzt ist. Anschließend werden zwei der so mit V-förmiger Feder vorstrukturierte Wafer beziehungsweise Waferverbunde im 180° gegeneinander gedreht und spiegelbildlich aufeinander ausgerichtet miteinander verbondet, insbesondere durch Silizium-Direkt-Bonden, so daß die erwünschte quersteife Torsionsfeder mit X-förmigen Querschnitt als Aufhängeelement für eine einheitliche Torsionsfeder-Masse-Systemstruktur gebildet ist.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen einer Torsionsfeder als Teil eines aus zwei Wafern oder zwei Waferverbunden zu gewinnenden mikromechanischen Torsionsfeder-Masse-Systems mit niedriger Torsionssteifigkeit im Vergleich zur Quersteifigkeit in lateraler und vertikaler Richtung, dadurch gekennzeichnet, daß
  - an mindestens einem seitlichen Randbereich jedes Wafers beziehungsweise Waferverbunds durch anisotropes naßchemisches Ätzen eine sich über die gesamte Wafer- oder Waferverbunddicke erstreckende Feder (3) mit lateral durch [111]-Flächen begrenztem V-förmigen Querschnitt erzeugt wird, und
  - die beiden so vorstrukturierten Wafer beziehungsweise Waferverbunde um 180° gedreht und spiegelbildlich aufeinander ausgerichtet miteinander verbondet werden, so daß im Bereich der beiden V-förmigen Federquerschnitte ein insgesamt X-förmiger Torsionsfederquerschnitt gebildet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß auf mindestens dem einen Wafer beziehungsweise Waferverbund auf der dem anderen Wafer beziehungsweise Waferverbund beim Verbonden zugekehrten Oberfläche ein isolierendes Oxid (4) ausgebildet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Wafer beziehungsweise Waferverbunde durch Silizium-Direkt-Bonden miteinander verbondet werden.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

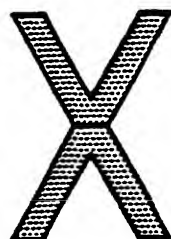


FIG. 1

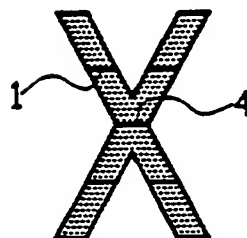


FIG. 2